

# Studi Modulus Elastisitas (Modulus Young) untuk Karakterisasi Berbagai Jenis Batubara Berdasarkan Analisis Kecepatan Gelombang

SUTOPO<sup>1)</sup>, EDDY IBRAHIM<sup>2)</sup>, NETTY KURNIAWATI<sup>3)</sup>, DAN FITRIANA LASMANA<sup>4)</sup>

<sup>1,3,4)</sup>Jurusan Fisika FMIPA, Universitas Sriwijaya, Sumatera Selatan, Indonesia

<sup>2)</sup>Jurusan Teknik Pertambangan F. Teknik, Universitas Sriwijaya, Sumatera Selatan, Indonesia

**INTISARI:** Lazimnya, kualitas batubara ditentukan melalui besarnya nilai *total moisture* dan *calorific value* (CV). Dalam makalah berbasis penelitian ini, telah dilakukan penentuan kualitas batubara berdasarkan parameter modulus elastisitas yang dihitung dari kaitannya dengan kecepatan gelombang. Sementara, kecepatan gelombangnya baik jenis P (*pressure*) maupun S (*shear*) diukur dengan menggunakan *time delay analyzer*. Hasil penelitian menunjukkan bahwa tingkat keelastisan, yang dicirri oleh modulus elastisitas, menentukan kualitas batubara. Batubara yang mempunyai kualitas baik (7000 kcal), nilai modulus elastisitasnya besar yaitu 8167,71 - 8593,86 MPa, sedangkan batubara yang mempunyai *calorific value* 5900 kcal mempunyai modulus elastisitas 6136.91- 6545.,55 MPa.

**KATA KUNCI:** modulus elastisitas, batubara, *calorific value*

**ABSTRACT:** Generally, the quality of coal is determined by total moisture and calorific value (CV). In this paper based on our research, we have been determined the quality of coal correspond to the elasticity modulus parameter that is calculated by means of its relation with wave velocity. Meanwhile, the wave velocity have been measured by using time delay analyzer. The result has shown that the elasticity modulus can indicate the quality of coal. The coal with a good quality (7000 kcal) has the high elasticity modulus value, *i.e.* 8167,71 - 8593,86 MPa, while the coal with CV 5900 kcal has the elasticity modulus value about 6136.91- 6545.,55 MPa.

**KEYWORDS:** elasticity modulus, coal, calorific value

Mei 2009

## 1 PENDAHULUAN

Dalam karakterisasi batuan para *geoscientist* mengembangkan pengukuran fisik baik secara insitu maupun laboratorium. Pengukuran insitu digunakan untuk mendapatkan berbagai parameter fisik sesuai dengan kondisi lapangan, sementara pengukuran di laboratorium digunakan untuk mendapatkan hasil yang lebih teliti. Hasil pengukuran kedua metode tersebut kemudian dibandingkan untuk mendapatkan suatu analisis yang terintegrasi.

Kecepatan rambat gelombang adalah parameter yang sering diukur secara insitu dengan metode seismik serta laboratorium melalui metode ultrasonic, jadi jika perubahan kondisi fisik batuan dapat ditandai dari perubahan kecepatan rambat gelombang yang merambat pada batuan, maka patut diduga semua parameter turunan dari kecepatan dapat dipergunakan juga untuk mengkarakterisasi perubahan tersebut<sup>[1-5]</sup>.

Kualitas batubara ditentukan oleh sifat fisika dan sifat kimia batubara yang sangat mempengaruhi potensi kegunaannya. Kualitas batubara ini diperlukan untuk menentukan apakah batubara tersebut mengun-

tungkan untuk ditambang selain dilihat dari besarnya cadangan batubara di daerah prospek tersebut<sup>[6]</sup>.

Kabupaten Lahat Propinsi Sumatera Selatan adalah salah satu kabupaten yang mempunyai prospek batubara tetapi belum banyak dipetakan. Dari data statigraf, cadangan batubara pada kabupaten ini diprediksi berada pada formasi Muara Enim<sup>[7]</sup> dengan ketebalan yang bervariasi tetapi untuk kualitas maupun lokasi belumlah dipetakan dengan baik.

Metode ultrasonik yaitu suatu metode pengujian material dengan menggunakan alat ukur cepat rambat frekuensi ultrasonik. Alat ukur cepat rambat frekuensi ultrasonik ini berprinsip pada gelombang akustik yang dalam penggunaannya dilengkapi oleh *probe* atau transducer, yang dapat membangkitkan gelombang longitudinal dan gelombang transversal.

Pada penelitian yang telah dilakukan, ditentukan karakterisasi batubara berdasarkan parameter modulus elastisitas dan porositas untuk mengetahui kualitas batubara berdasarkan uji sampel dengan metode ultrasonik.

## 2 TINJAUAN PUSTAKA

Batubara merupakan sedimen organik yang terbentuk dari sisa tumbuhan yang membusuk dan terkumpul dalam suatu daerah selama berjuta-juta tahun. Proses pembentukan batubara sendiri secara singkat dapat didefinisikan sebagai suatu perubahan dari sisa-sisa tumbuhan yang ada, mulai dari pembentukan *peat* (*peatification*) kemudian *lignit* dan menjadi berbagai macam tingkat batubara, disebut juga sebagai proses *coalification*, yang kemudian berubah menjadi *anthracite*. Pembentukan batubara ini sangat menentukan kualitas batubara.

### *Hubungan kecepatan gelombang P dan S dengan konstanta elastisitas batuan*

Pada dasarnya konstanta elastisitas batuan diukur berdasarkan hasil perbandingan *stress* dan *strain*. Tipe atau jenis konstanta elastisitas batuan didefinisikan berdasarkan gaya atau *stress* seperti *tension*, kompresi, *pressure*, *shear*. Untuk media homogen isotropis, terdapat hubungan tertentu antara berbagai konstanta elastisitas, khususnya modulus geser karena tergantung pada kesamaan sifat dasar materinya.

Dari penurunan kecepatan gelombang<sup>[8]</sup>, didapat

$$\sigma = \frac{1}{2} \frac{(v_p/v_s)^2 - 2}{(v_p/v_s)^2 - 1} \quad (1)$$

dengan  $\sigma$  adalah *Poisson's ratio*.

Dari hubungan *Poisson's ratio* dan persamaan kecepatan gelombang didapatkan modulus elastisitas  $E$  (modulus young)

$$E = \rho v_s^2 \left( \frac{3(v_p/v_s)^2 - 4}{(v_p/v_s) - 1} \right) \quad (2)$$

### *Berbagai jenis batubara*

Batubara terdiri dari beberapa jenis yaitu :

1. *Anthracite coal*; batubara yang berupa padatan (*dense*), batu-keras dengan warna *jet-black* berkilauan (luster) *metallic* ini merupakan kelas batubara tertinggi, mengandung antara 86% - 98% karbon (C) dari beratnya dengan kadar air kurang dari 8%, terbakar lambat, dengan batasan nyala api biru (*pale blue flame*) dengan sedikit sekali asap, di area pegunungan telah terkondisikan pada panas yang besar dan tekanan seperti batuan metamorfik, *hard coal* atau *anthracite* ini adalah hampir karbon sempurna.
2. *Bituminous coal* atau batubara lunak, mengandung 68 - 86% karbon (C) berkadar air 8-10% dari beratnya; hampir semua batubara berbentuk ini.

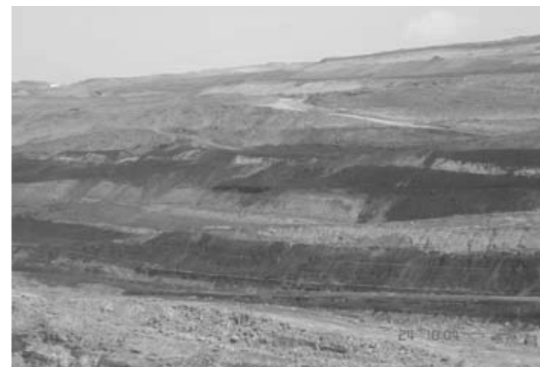
3. *Sub-bituminous coal*; batubara yang mengandung sedikit karbon dan banyak air, oleh karenanya menjadi sumber panas yang tidak efisien.

4. *Lignite coal* atau batubara coklat; batu bara yang sangat lunak yang mengandung air 35 - 75% dari beratnya serta memiliki nilai kalori paling rendah.

## 3 METODE PENELITIAN

### 3.1 Waktu dan Tempat

Penelitian dilakukan mulai bulan April 2008 sampai dengan bulan September 2008. Pengambilan sampel bertempat di lokasi penambangan milik PT. Tambang Batubara Bukit Asam (PTBA), Tanjung Enim (Gambar 1), Sedangkan uji sampel dan pemrosesan data dilakukan di laboratorium Geofisika jurusan Fisika FMIPA UNSRI.



GAMBAR 1: Lokasi pengambilan sampel area penambangan PTBA

### 3.2 Alat dan Bahan

Peralatan yang dipergunakan adalah 1 unit *time delay analyzer*.

Sampel batubara yang akan di analisis untuk penentuan konstanta elastisitas berasal dari lokasi penambangan PT. Tambang Batubara Bukit Asam, Tanjung Enim. Sampel itu terdiri dari 5 jenis, sebagaimana yang disajikan pada Tabel 1.

### 3.3 Metode Pengukuran dan Pehitungan

Pada analisis sampel untuk penentuan harga konstanta elastisitas digunakan 1 unit *time delay analyzer*. Pada prinsipnya alat itu mengukur waktu tempuh (*travel time*) kecepatan gelombang bunyi yang merambat pada sampel batubara. Bila panjang sampel diketahui maka kecepatan rambat ( $v$ ) gelombang bunyi dapat dihitung. Langkah-langkah pengukuran dan perhitungan konstanta elastisitas adalah sebagai berikut:

GAMBAR 2: *Time delay analyzer*

GAMBAR 3: Pengambilan sampel

TABEL 1: Sampel batubara dari PT. Tambang Batubara Bukit Asam

No	Jenis Batubara	Kalori (kcal/kg adb)
1	ANS	7300-8300
2	TE-70	6800-7300
3	TE-67	6500-6800
4	TE-63	6100-6500
5	TE-59	5400-6100



GAMBAR 4: Teknik pengukuran

1. Unit *time delay analyze* dihubungkan dengan sensor pemancar dan penerima serta osiloskop sebagai keluaran sinyal;
2. Mengukur jarak panjang sampel batubara;
3. Meletakkan pemancar dan penerima pada ujung-ujung sampel;
4. Jika gelombang sampai pada sensor penerima maka sinyal keluaran akan menghasilkan simpangan vertikal awal (*first break*) pada osiloskop. Dengan demikian waktu rambat gelombang pada batubara dapat diukur;
5. Menghitung kecepatan gelombang P ( $v_p$ ) dan S ( $v_s$ );
6. Menghitung konstanta elastisitas dengan menggunakan pers.(2).

Pengukuran dilakukan sebanyak 8 kali pada sampel yang sama dengan memindahkan letak pemancar dan penerima.

## 4 HASIL DAN PEMBAHASAN

### 4.1 Hasil

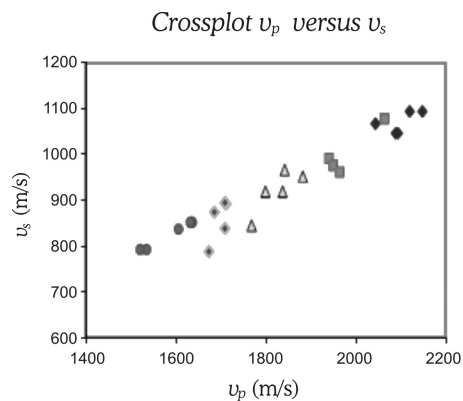
Tabel 2 memperlihatkan hasil pengukuran kecepatan gelombang P ( $v_p$ ) pada masing-masing jenis batubara. Dari tabel tersebut dapat dilihat bahwa untuk batubara jenis *anthracite* (ANS) memiliki kecepatan gelombang P antara 2044,04 - 2119,19 m/s dan memiliki modulus elastisitas antara 8167,71 - 8593,86 Mpa, jenis TE-70: 1940 - 2065 m/s dan memiliki modulus elastisitas antara 7802,04 - 8256,47 Mpa, jenis TE-67: 1767,52 - 1881,09 m/s dan memiliki modulus elastisitas antara 7063,09- 7359,62 Mpa, jenis TE-63: 1672,40 - 1711,32 m/s, serta jenis TE-59: 1521,77 - 1637,55 m/s, memiliki modulus elastisitas antara 6678,23- 6838,89 Mpa. Untuk kecepatan gelombang S ( $v_s$ ) pada masing-masing jenis batubara diperoleh bahwa untuk batubara jenis ANS: 1044,24 - 1091,70 m/s, jenis TE-70: 960,70 - 1074,24 m/s, jenis TE-67: 905,31 - 966,43 m/s, jenis TE-63: 836,20 - 893,21 m/s, dan jenis TE-59: 790,84 - 806,18 m/s memiliki modulus elastisitas antara 6136,91- 6545,55 Mpa.



GAMBAR 5: Sinyal keluaran

## 4.2 Pembahasan

Kecepatan rambat gelombang mekanik pada suatu media padat ditentukan oleh frekuensi sumber, karakteristik bahan, dan keadaan lingkungan. Setiap benda tegar selalu memiliki frekuensi diri beserta harmoniknya yang disebabkan oleh karakteristik suatu bahan seperti elastisitas, kerapatan molekul, porositas dan lain sebagainya. Dari karakteristik bahan tersebut dapat diketahui juga kualitasnya. Gambar 6 memperlihatkan grafik hubungan antara kecepatan gelombang P ( $v_p$ ) dan kecepatan gelombang S ( $v_s$ ) yang didapat dari masing-masing jenis sampel batubara.

GAMBAR 6: Grafik hubungan antara  $v_p$  dan  $v_s$  untuk berbagai jenis batubara

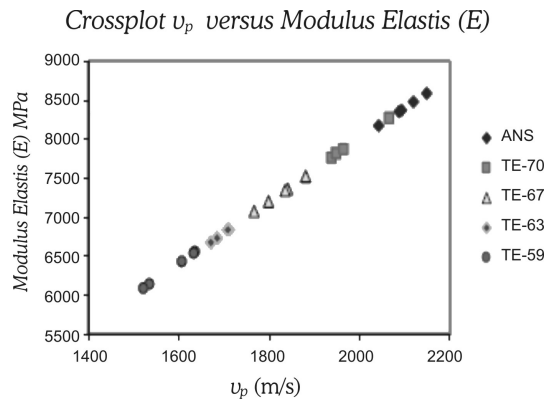
Pada grafik sebagaimana yang ditunjukkan oleh Gambar 6 terlihat bahwa untuk batubara jenis ANS mempunyai kecepatan gelombang P dan gelombang S paling besar, yang berarti bahwa batubara jenis ANS merupakan batubara yang paling padat atau keras. Jenis TE-70 kecepatan gelombang P dan gelombang S lebih kecil atau lebih lambat dari pada batubara jenis ANS, yang berarti bahwa batubara berjenis ini kurang padat atau sedikit lebih rapuh dibandingkan dengan jenis ANS. Jenis TE-67 memiliki kecepatan

TABEL 2: Kecepatan gelombang P ( $v_p$ ), S ( $v_s$ ), dan modulus elastisitas sampel dari lokasi penambangan PT. Batubara Bukit Asam

Jenis	$v_p$	$v_s$	$E$
Batubara	(m/s)	(m/s)	(MPa)
	2119,19	1091,70	8472,74
ANS (A1)	2148,75	1091,70	8593,86
(antrasit)	2044,04	1067,44	8167,71
	2088,48	1044,24	8353,90
	2092,43	1046,22	8369,72
	1940,81	988,71	7761,81
TE-70 (A2)	2065,84	1074,24	8256,47
(7000 kal)	1950,51	975,25	7802,04
	1951,42	975,71	7805,68
	1965,07	960,70	7858,36
	1842,25	966,43	7359,62
TE-67 (A3)	1799,13	917,92	7194,98
(6700 kal)	1767,52	905,31	7063,09
	1881,09	949,68	7524,00
	1837,07	918,54	7348,29
	1711,32	891,81	2491,54
TE-63 (A4)	1708,75	893,21	2481,73
(6300 kal)	1684,34	873,36	2461,95
	1709,56	836,97	2599,79
	1672,40	836,20	2602,28
	1606,56	793,48	2345,78
TE-59 (A5)	1535,00	791,48	2253,38
(5900 kal)	1637,55	804,41	2393,58
	1633,30	806,18	2381,08
	1521,77	790,84	2220,50

gelombang P dan gelombang S lebih kecil daripada batubara jenis TE-70, sedangkan Jenis TE-63 memiliki kecepatan gelombang P dan gelombang S lebih kecil daripada jenis TE-67 dan lebih besar daripada jenis TE-59. Jenis TE-59 merupakan batubara yang mempunyai kecepatan gelombang P dan gelombang S yang paling kecil atau lambat. Jenis ini merupakan batubara yang paling rapuh atau tidak padat, oleh karena itu mempunyai kecepatan penjalaran gelombang yang paling kecil atau lambat.

Pada grafik sebagaimana yang ditunjukkan oleh Gambar 7 terlihat bahwa semakin kecil atau lambat kecepatan gelombang P maka modulus elastisitasnya juga akan semakin kecil. Untuk batubara jenis ANS mempunyai modulus elastisitas paling besar, yang berarti bahwa batubara berjenis ini mempunyai tingkat



GAMBAR 7: Grafik hubungan antara  $v_p$  dan  $E$  untuk berbagai jenis batubara

keelastisan paling besar atau paling padat dan tentunya tidak mudah pecah. Jenis TE-70 mempunyai kecepatan modulus elastisitas yang lebih kecil daripada jenis ANS. Batubara ini mempunyai tingkat keelastisan yang lebih kecil atau lebih rapuh daripada jenis ANS. Jenis TE-67 mempunyai modulus elastisitas lebih kecil dari pada jenis TE-70 dan lebih besar daripada jenis TE-63. Batubara berjenis ini merupakan batubara yang lebih rapuh dibandingkan dengan jenis TE-70 dan lebih padat jika dibandingkan dengan TE-63. Jenis TE-59 merupakan batubara yang mempunyai modulus elastisitas paling kecil, sehingga memiliki tingkat keelastisan paling kecil. Karena itu, batubara jenis TE-59 paling rapuh atau paling mudah pecah daripada batubara jenis yang lainnya.

## 5 SIMPULAN DAN SARAN

### 5.1 Simpulan

Dari hasil penelitian dapat disimpulkan sebagai berikut:

1. Parameter kecepatan rambat gelombang dan modulus elastisitas dapat digunakan untuk membedakan jenis maupun kualitas batubara di lokasi penelitian.
2. Untuk sampel batubara jenis antrasit (ANS) memiliki modulus elastisitas antara 8718,56 - 9381,94 MPa, jenis TE-70 memiliki modulus elastisitas antara 7549,52 - 8869,39 MPa, jenis TE-67 memiliki modulus elatis antara 6604,43 - 7145,36 MPa, jenis TE-63 memiliki modulus elastisitas antara 5593,82 - 6099,02 MPa, dan jenis TE-59 memiliki modulus elastisitas antara 4810,02 - 5268,28 MPa.

### 5.2 Saran

Sebaiknya perlu juga digunakan metode pengukuran yang lain sebagai perbandingan.

## DAFTAR PUSTAKA

- [1] Khairy, H. dan E.N. Bagus, 2003, Relating Bulk Modulus and  $P$ -Wave Attenuation to Permeability in Reservoir Sand, *Joint Convention Jakarta 2003(JCJ-2003)*
- [2] Sutopo, 2003, Studi Konstanta Elastis dan Faktor Kualitas ( $Q$ -faktor) Berbagai Batuan Sedimen Dekat Permukaan Menggunakan Gelombang  $P$  dan  $SH$ , *Tesis S2*, Departemen Geofisika dan Meteorologi ITB, Bandung
- [3] Sutopo dan P. Awali, 2004, Studi Konstanta elastisitas dari Data Refraksi untuk Karakteristik Berbagai Batuan Sedimen Dangkal, *Artikel Pertemuan Ilmiah Tahunan Himpunan Ahli Geofisika Indonesia (HAGI)*, Jogjakarta
- [4] Sutopo, Netty K., 2005, Studi Konstanta Elastik dan Faktor Kualitas Batuan Sedimen Berdasarkan Analisa Gelombang Seismik Serta Aplikasinya dalam Masalah Geoteknik dan Lingkungan, *Seminar Nasional reserach and Study Tahap V; Proyek TPSDP*, Surabaya
- [5] Samsul, A.A., 2004, An Analysisi of the ( $V_p/V_s$ ) and its Relation with  $\lambda_p - \mu_p$  in Exploration Well ("A quick Look Method" for Recognize Hydrocarbon Zones a Minutes After Well Data Acquisition), *Pertemuan Ilmiah Tahunan Himpunan Ahli Geofisika Indonesia (HAGI): ke 29*, Jogjakarta
- [6] Pratomo, H., 2004, Kontrol Kualitas Batubara, *Makalah Diklat Pengembangan dan Latihan PT. Tambang Batubara Bukit Asam Tanjung Enim*
- [7] Gafoer, S., T. Cobrie, J. Purnomo, 1986, *The Geology of The Lahat Quadrangle; Sumatera*, Departement Of Mines and Energy
- [8] Shearer, M. P, 1999, *Introduction To Seismology*, Cambridge University Press, San Diego